

В. Г. Лисиенко, Ю. Н. Чесноков¹, А. В. Лаптева²

¹Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

ЭМИССИЯ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ

The concept of a through energy-ecological assessment of the entire sequence of processes in the production of a particular product in the form of technological fuel and technological environmental numbers is known. A similar estimate was introduced to characterize greenhouse gas emissions in the steel industry, these numbers are estimated in energy units, but to get the last two numbers you need to know the emissions of harmful and greenhouse gases. However, the contribution of the processes of extraction, enrichment and transportation of raw materials in the numerical estimates is approximately determined, while the technological processes in each quarry and mining and processing plant have their own characteristics. This paper attempts to clarify this contribution by determining emissions of harmful substances and greenhouse gases for a generalized open pit process scheme.

В работе [1] предложена сквозная энерго-экологическая оценка всей последовательности процессов при производстве того или иного продукта. Аналогичная оценка приведена для выбросов парниковых газов в черной и цветной металлургии [2]. Вклад процессов добычи, обогащения, транспортировки сырья в перечисленных оценках приняты в размере 10–20 % от параметров основных технологических процессов. В данной работе сделана попытка уточнения этого вклада численной оценкой выбросов вредных газов (ВГ) и парниковых газов (ПГ) для обобщенной технологической схемы открытого карьера и горно-обогатительного комбината (ГОК). Сделана попытка оценки выбросов вредных и парниковых газов. Пылеобразование здесь не рассматривается. Обобщенные технологические процессы приведены в табл. 1 (ссылки на данные, приведенные в табл. 2 и 3).

Метод оценки выбросов (эмиссий) основан на следующих формулах:

$$E_{\text{XX}}^{\text{ПП}} = q_{\text{XX}}^{\text{ИЭ}} \cdot Q_{\text{ПП}}, \quad (1)$$

$$E_{\text{XX}}^{\text{ПП}} = q_{\text{XX}}^{\text{ИЭ}} \cdot Q_{\text{ПП}} \cdot t \cdot n_{\text{ПП}}, \quad (2)$$

где $q_{\text{XX}}^{\text{ИЭ}}$ – удельный выброс ВГ или ПГ, кг/кВт·ч или кг/т; $Q_{\text{ПП}}$ – энергетический параметр производственного процесса (ПП), кВт·ч или кг/тонну;

t – продолжительность процесса, часов; $n_{\text{ПП}}$ – количество агрегатов в процессе ПП. Вместо индексов XX следует вставить формулу ВГ или ПГ, индекс ПП обозначает производственный процесс, ИЭ – источник энергии: электроэнергия тепловой электростанции (ТЭС) или дизельного двигателя (ДД).

Таблица 1

Технологические процесса производства рудного сырья

N	Процесс	Агрегаты	Примечание
1	Бурение скважин под закладку взрывчатых веществ	Буровые станки СБШ-250 МНА-32 [4] с электроприводом). 70 скважин с 250 кг (18 т) граммонита глубиной 15 м с шагом 3 м.	Взрываемый блок составит 83 000 м ³ , отбойки – 124 500 м ³ , полная масса отбойки $M_{\text{ВБР}} = 166\,000$ т
2	Дробление массива взрывными работами	Эмиссия ВВ: $q_{\text{CO}}^{\text{BP}} = 30$, $q_{\text{NO}_x}^{\text{BP}} = 2$ кг/т	
3	Погрузка самосвалов в забое	Электроэкскаватор ЭКГ-10 [4],	Табл. 2
		Дизельный экскаватор [8] удельный расход топлива $b_s = 210$ г/кВт·ч [3], температуру отработавших газов $T_{\text{ог}} = 500$ °С.	
4	Транспортировка из забоя автотранспортом до перегрузочной площадки	«БелАЗ-7517» грузоподъемностью 160 тонн	Табл. 2
5	Погрузка железнодорожных составов (вертушек) с тяговыми агрегатами (ТА) и доставка руды на ГОК	Тяговые агрегаты ОПЭ-1 [6] 16 часов под электротягой	Табл. 3
		8 часов – под дизельной тягой	Табл. 3
6	Дробление руды	Конусные дробилки табл. 4 [11]	Табл. 3
7	Измельчение руды	Шаровые мельницы МШР-3600х5000	Табл. 3
8	Обогащение, окатывание концентрата	Флотация	-
9	Формирование состава	Тепловоз ТЭМ7 [13]. 60 вагонов по 68 т руды, итого $M_{\text{ФС}} = 4\,080$ т	Табл. 2
10	Транспортировка концентрата или окатышей на металлургический комбинат (МК)	Магистральный тепловоз 2ТЭ10М [14] на расстояние 1 800 км	Табл. 2

Таблица 2

Данные по агрегатам с дизельным двигателем для расчетов по формулам (2)–(4)
(удельные выбросы из табл. 2)

Процесс / агрегат	Q , кВт	n , штук	t , час	t_d , сек
Погрузка в забое ДЭ / Hitachi EX1900-6	800	3	24	86 400
Транспортировка из забоя / БелАЗ-7517	1400	43	24	86 400
Транспортировка ТАД / ОПЭ-1	1470	5	8	28 800
Формирование состава / ТЭМ7	1470	1	2	7200
Доставка потребителю черной металлургии (ЧМ) / 2ТЭ10М	4412	1	72	259 200
Доставка потребителю цветной металлургии (ЦМ) / 2ТЭ10М	4412	1	24	259 200

Таблица 3

Данные по агрегатам с электродвигателем для расчетов по формулам (2)

Процесс / агрегат	Q , кВт	n , штук	t , час
Бурение / СБШ-250 МНА-32	500	6	24
Погрузка в забое / ЭЭ ЭКГ-10	800	3	24
Транспортировка ТАЭ / ОПЭ-1	6000	5	16
Дробление крупное / ККД-1500/180	400	5	22
Дробление среднее / КСД-3000-Т	500	9	24
Дробление мелкое / КМД-2200-Т1	250	50	24
Измельчение / МШР-3600х5000	1250	36	24

Объем отработавших газов дизельного двигателя $V_{ог}$ определяется по формулам из [5].

$$V_{ог} = \frac{8,72 \cdot 10^{-6} \cdot b_3 \cdot P_3 \cdot t_d}{1,31 \cdot \left(1 + \frac{273}{T_{ог}}\right)}, \text{ м}^3, \quad (3)$$

где b_3 – удельный расход топлива, г/кВт·ч; P_3 – мощность двигателя, кВт;
 t_d – время работы двигателя, с; $T_{ог}$ – температура отработавших газов, °С.
Парникового газа CO_2 содержится в отработанных газах до 12 % их объема [5].

Таким образом, наибольшая эмиссия газа CO_2 от $n_{\text{ПП}}$ агрегатов при известном объеме $V_{\text{ог}}$ определяется:

$$E_{\text{ХХ}}^{\text{ПП}} = 0,12 \cdot V_{\text{ХХ}}^{\text{ИЭ}} \cdot \rho_{\text{ДУ}} \cdot n_{\text{ПП}}, \quad (4)$$

где $V_{\text{ХХ}}^{\text{ИЭ}}$ – объем отработанных газов, равный $V_{\text{ог}}$, м^3 ; $\rho_{\text{ДУ}} = 1,977 \text{ кг/м}^3$ – плотность углекислого газа.

Виды эмиссий $\text{кг/кВт}\cdot\text{ч}$ дизельных двигателей и их значения: $\text{SO}_2 - 2,5$, $\text{NO}_x - 30$, $\text{C}_x\text{H}_y - 8$, $\text{CO} - 12$ и $\text{CO}_2 - 12 \%$. Виды эмиссий $\text{кг/кВт}\cdot\text{ч}$ теплоэлектростанций (ТЭС) и их значения: $\text{CO}_2 - q_{\text{CO}_2}^{\text{ТЭС}} = 0,560$, $\text{SO}_2 - q_{\text{SO}_2}^{\text{ТЭС}} = 0,014$, $\text{NO}_x - q_{\text{NO}_x}^{\text{ТЭС}} = 0,004$.

На основании этих данных получим табл. 4 и 5.

Таблица 4

Эмиссии газов в атмосферу при различных процессах открытой разработки сырья

Технологические процессы	E_{CO_2}	Вредные газы			
		E_{CO}	E_{NO_x}	$E_{\text{C}_x\text{O}_y}$	E_{SO_2}
Бурение скважин, кг	40 320	–	288	–	1 008
Взрывные работы, кг	–	540	36	–	–
Погрузка в забое электрическим экскаватором (ЭЭ), кг	32 256	–	230	–	806
Погрузка в забое ДЭ, кг	44 480	691	1 728	461	144
Транспортировка из забоя, кг	1 115 715	17 338	43 344	11 558	3 612
Транспортировка ТАЭ, кг	268 800	–	1 920	–	6 720
Транспортировка ТАД, кг	45 438	706	1 765	471	147
Дробление, кг	121 180	–	863	–	3 320
Измельчение, кг	61 088	–	5 478	–	19 588
Итог, кг	1 729 277	19 275	55 652	12 490	35 345
Удельная эмиссия, кг/т	10,417	0,116	0,335	0,075	0,213

**Эмиссии в атмосферу при различных процессах добычи и обогащения богатых
руд**

Технологические процессы	E_{CO_2} , кг	Вредные газы			
		E_{CO}	E_{NO_x}	$E_{C_xO_y}$	E_{SO_2}
Предыдущие процессы для ЧМ, кг	39 860	466,82	1332	302	801
Формирование состава, кг	27 263	35	88	24	7
Доставка потребителю ЧМ, кг	245 309	3 812	9530	2 541	794
Итого, кг	315 075	4 321	10 986	2 872	1 670
Удельная эмиссия с доставкой, кг/т	77,22	1,06	2,69	0,70	0,41

Произведена оценка сквозных эмиссий вредных и парникового газов в процессах: карьерной добычи богатых руд; обогащения; транспортных процессов. Для бедных руд уменьшаются эмиссии при доставке потребителю (ГОК ближе к МК), но увеличиваются эмиссии по переработке больших объемов руды, что в итоге увеличивает значения всех эмиссий более чем в пять раз. Сквозные эмиссии вредных и парниковых газов, образующиеся при карьерной добыче, дроблении и доставке бедных руд (цветных металлов) вносят заметный вклад в суммарные сквозные эмиссии основной продукции – более 20 % для сырья цветной металлургии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лисиенко, В. Г. Хрестоматия энергосбережения : справочное издание : в 2-х книгах. Книга 2 / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев; под ред. В. Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2002. – 768 с.
2. Лаптева, А. В. Оценка эмиссии парникового газа CO_2 в процессе огневого рафинирования меди / Лаптева А. В., Лисиенко В. Г., Чесноков Ю. Н., Холод С. И. – Материалы международного симпозиума «Инженерная экология – 2017». Москва, 5–7 декабря 2017 г. – М.: МТУСИ, 2017. – С. 208–211.
3. Носырев, Д. Я. Анализ выбросов загрязняющих веществ дизелями тепловозов / Д. Я. Носырев, Е. А. Скачкова. – Самара: СамГАПС, 2004. – 20 с.

4. СБШ-250 / характеристики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sbsh-250.ru/sbsh250/performance_attributes (дата обращения 20.04.21).

5. Отраслевые нормативы буровзрывных работ для карьеров горнодобывающих предприятий цветной металлургии. Дата введения – 1978-01-01. Утверждены приказом Министерства цветной металлургии СССР от 11 апреля 1977 г. № 162 и введены в действие с 1 января 1978 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200092732> (дата обращения 20.04.21).

6. Методические указания по расчету неорганизованных выбросов пыли и вредных газов в атмосферу при взрывных работах на карьерах горно-химических предприятий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplan.ru/Data2/1/4293748/4293748488.htm> (дата обращения 10.05.21).

7. Экскаватор ЭКГ 10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://spectekhnika.info/ehkskavator-ehkg-10> (дата обращения 10.05.21).

8. Карьерные фронтальные погрузчики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/11466> (дата обращения 10.05.21).

9. БелАЗ-7517. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belazia.sg/ru/catalog/products/dumptrucks/7517> (дата обращения 10.05.21).

10. Промышленный электровоз ОПЭ1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://цжд.рф/%D0%BE%D0%BF%D1%8D1> (дата обращения 10.05.21).

11. Конусная дробилка (ККД, КМД, КСД). Классификация, схема, принцип действия и конструкция. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forpsk.ru/index.php/stati/oborudovanie/141-konusnaya-drobilka-klassifikatsiya-printsip-dejstviya-i-konstruktsiya> (дата обращения 10.05.21).

12. Шаровая мельница МШР. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tmsnab.ru/products/sharovaya-melnitsa-mshr> (дата обращения 10.05.21).

13. Тепловоз марки ТЭМ7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.dieselloc.ru/books/teplsssr/page_10.html (дата обращения 10.05.21).

14. Тепловозы 2ТЭ10М и 3ТЭ10М. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://prolokomotiv.ru/teplovozy-2te10m-i-3te10m.html> (дата обращения 10.05.21).